

УДК 629.7

## **К вопросу проектирования беспилотного летательного аппарата для решения разведывательных задач на море**

**Трохов Д.А, Туркин И.К.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*e-mail: [dmitry85t@mail.ru](mailto:dmitry85t@mail.ru)*

*e-mail: [kafedra\\_602@mail.ru](mailto:kafedra_602@mail.ru)*

### **Аннотация**

В данной статье анализируется текущая ситуация с созданием глобальных систем мониторинга морской поверхности с помощью высотных разведывательных беспилотных летательных аппаратов. В статье приведены подходы к рациональному алгоритму формирования облика беспилотного летательного аппарата воздушной разведки на море с учетом весовых и тактических критериев. В статье затрагивается важность показателя разрешения целевой аппаратуры видовой разведки. Даны рекомендации к составу целевой аппаратуры обеспечивающей необходимое разрешение на местности. Проведены результаты оценки эффективности оптического канала типовой целевой нагрузки по критерию вероятности распознавания объекта разведки и бортовой радиолокационной станции по критерию дальности обнаружения.

**Ключевые слова:** морская разведка, беспилотный летательный аппарат (БЛА), целевая аппаратура, проектирование, проектные параметры.

В современное время беспилотные летательные аппараты разведывательных операций находят большое применение в глобальных системах разведки. Например, в США создается стратегическая морская система воздушной разведки и наблюдения ВМС (англ. Broad Area Maritime Surveillance), ядром которой будет морской патрульный беспилотный разведчик MQ-4C Triton (рис.1), созданный на базе RQ-4 Global Hawk. По состоянию на июнь 2012 года Northrop Grumman построила два испытательных образца MQ-4C Triton. В общей сложности ВМС США намерены заказать 68 MQ-4C Triton. Первый полет запланирован в конце 2012 года.



Рисунок 1

На вооружение MQ-4C Triton планируется принять в декабре 2015 года. [1].

Ввиду необходимости разработки подобных систем в статье раскрывается разработанный алгоритм формирования облика подобных БЛА.

Облик БЛА – это концептуальная характеристика аппарата, отражающая его схему, общий вид, структуру, принципы устройства и функционирования. Выбор облика – центральная задача первой стадии опытно-конструкторской работ, их интеллектуальная составляющая. [2]

Одной из главных задачами формирования облика являются анализ объектов разведки, их ПВО, средств РЭБ, показателей из заметности. Важно провести анализ зависимости эффективности проведения воздушной разведки от погодных условий, состояния морской поверхности. Необходимо разработать математические модели эффективности функционирования комплекса для обоснования требований к траектории БЛА, к составу и параметрам целевой аппаратуры. Необходимо создание аэродинамической модели БЛА, весовой модели, модели геометрии, модели расчета эффективной площади рассеяния БЛА, модели компоновки и центровки, и других моделей в рамках выбранного опорного облика.

В общем виде алгоритм формирования облика представлен на рис. 2.

На первом этапе выбирается критерий оптимальности комплекса БЛА. Критерием оптимальности комплекса БЛА целесообразно выбирать стартовую массу БЛА как универсальный критерий оптимальности. Также стартовая масса является косвенным критерием экономического качества ЛА.[3]

На втором этапе рассматриваются условия и факторы, влияющие на эффективность комплекса. Боевое применение БЛА воздушной разведки будет происходить в условиях некоторой разведывательной операции. Операция может быть представлена в виде последовательных типовых боевых эпизодов, условно

выделяемых частей операции, направленных на выполнение промежуточных задач.

Эффективность выполнения этих задач зависит:

- от совокупности действий проектируемого БЛА ВР и подсистем комплекса, аппаратуры воздушной разведки и целеуказания  $\{A_i\}$ , которые могут быть представлены через их тактические характеристики и проектные параметры;

- от совокупности действий средств противника  $\{P_i\}$ ;

- от условий, в которых протекает операция  $\{U_i\}$ .

К условиям, в которых протекает операция  $\{U_i\}$ , можно отнести характеристики целевой обстановки и внешней среды (метеоусловия, географическое положение, ограничения и допущения) [4].

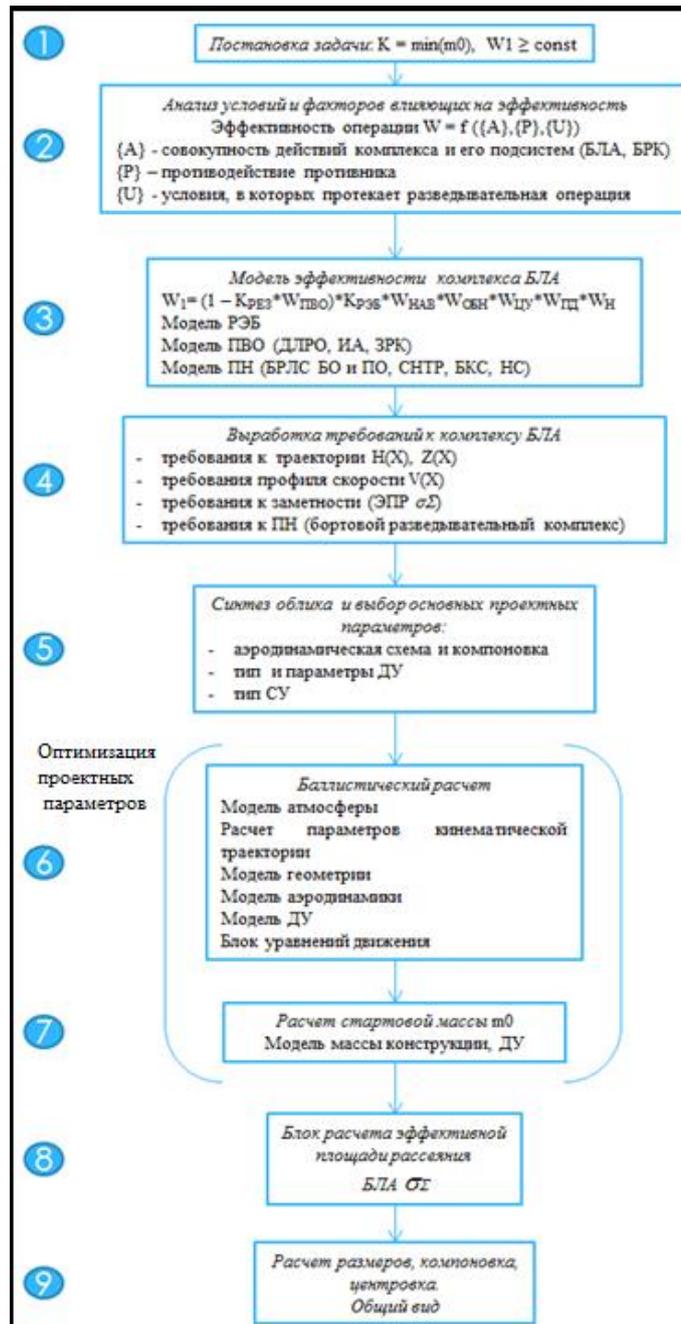


Рисунок 2

Далее формируется модель функционирования БЛА в условиях конкретной операции. Разрабатываются модель оценки эффективности комплекса в условиях противодействия корабельных средств РЭБ и ПВО противника, модель расчета вероятности обнаружения целей бортовым разведывательным комплексом, учитываются параметры разведываемых объектов (построение, показатели

заметности). Модель эффективности строится на основе применения в рамках типовой разведывательной операции. В такой постановке вероятность обнаружения цели выражается через произведение вероятностей выполнения БЛА различных фаз с учетом возможного противодействия. Так, например, типовую операцию по обнаружению авианосца в составе авианосной группы можно укрупненно представить в виде последовательных фаз: осуществление навигационного обеспечения для вывода БЛА в район разведки, преодоление противовоздушной обороны, накрытие и обнаружение авианосца целевой разведывательной аппаратурой, передача разведывательной информации потребителям. С учетом сказанного и технической надежности функционирования вероятность обнаружения можно представить в виде:

$$W_I = (1 - K_{PEZ} * W_{ПВО}) * K_{PEB} * W_{НАВ} * W_{ОБН} * W_{ПД} * W_H$$

Где  $W_{ПВО}$  – интегральная вероятность успешного противодействия ПВО;

$K_{PEZ}$  – коэффициент снижения эффективности систем ПВО при применения БЛА средств радиоэлектронной защиты;

$W_{НАВ}$  – вероятность выхода БЛА в район разведки;

$W_{ОБН}$  – вероятность обнаружения цели;

$W_{цу}$  – вероятность осуществления целеуказания;

$W_{ПД}$  – вероятность передачи разведданных;

$K_{PEB}$  – коэффициент снижения эффективности процессов поиска, целеуказания, наведения, передачи информации при постановке противником радиоэлектронных помех;

$W_H$  – вероятность безотказной работы. [4]

На следующем этапе формируются требования и ограничения к характеристикам комплекса БЛА, например, к летно-техническим, к уровню радиолокационной заметности. Рассчитывается необходимая траектория. Определяются массогабаритные параметры полезной нагрузки и условия ее размещения.

На пятом этапе осуществляется синтез облика БЛА. Центральной задачей этого этапа является выбор схемы БЛА. Параллельно с анализом возможных схем, выбирается тип и параметры ДУ, тип системы управления, конструктивно-силовая схема планера. Выбираются основные проектные параметры БЛА.

На шестом этапе осуществляется баллистическое проектирование БЛА. Задачей баллистического проектирования является в определении относительной массы топлива  $\mu_T$ , программы работы ДУ, которая задает закон секундного расхода топлива, траектории  $H(X)$ ,  $Z(X)$ , профиля скорости  $V(t)$ , удовлетворяющих заданным граничным условиям. Основой для построения математической модели баллистического проектирования служат уравнения движения ЛА. Для упрощения решения уравнений движения в данной задаче можно рассматривать движения ЛА в одной плоскости. На этом этапе необходимо иметь математическую модель аэродинамики, двигательной установки, приближенную модель функционирования системы управления.[5]

Далее вычисляется стартовая масса БЛА. Основными частями БЛА являются конструкция (корпус, крылья, оперение, рулевые приводы), ДУ, топливо и полезная нагрузка, в том числе целевая аппаратура.

Масса полезной нагрузки почти не связана с проектными параметрами, а зависит непосредственно от требований к БЛА с точки зрения эффективности (типа обнаруживаемой цели, требуемой вероятности выполнения разведывательной задачи, вероятности передачи данных, вероятности выхода в район разведки с заданной точностью).

Массы других частей БЛА, в отличие от полезной нагрузки, существенно зависят от проектных параметров и в какой-то мере пропорциональны стартовой массе. Относительные массы частей находятся по эмпирическим и полуэмпирическим зависимостям, а также по статистическим данным.

На этапах 6-7 проводится оптимизация проектных параметров БЛА с целью нахождения экстремального значения критерия оптимальности, т.е. стартовой массы.

Далее проверяется соответствие эффективной площади рассеяния опорного варианта БЛА уровню ЭПР заданной в четвертом блоке.

На последнем этапе проводится расчет размеров и центровки ЛА и вычерчивается общий вид.

Вероятными целями разведки такого разведывательного комплекса будут транспортные и военные корабли, объекты береговой линии и т.п.

В качестве целевой аппаратуры целесообразно выбрать информационные системы с высоким разрешением рис.3. Такими являются оптические системы с инфракрасными каналами, радиолокационные станции панорамного и бокового обзора различного размещения на носителе.

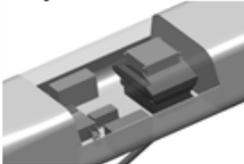
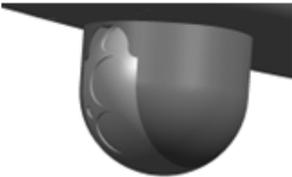
<b>Выбор состава целевой аппаратуры видовой разведки</b>			
<b>ОЭС</b>		<b>РЛС</b>	
<b>ТВ канал</b>	<b>ИК канал</b>	<b>РЛС БО</b>	<b>РЛС ПО</b>
<b>Размещение на носителе</b>			
<b>в фюзеляже</b> 	<b>в фюзеляже</b>	<b>в фюзеляже</b>	
<b>Внешняя подвеска ГОЭС</b> 	<b>в подвесных контейнерах</b> 		

Рисунок 3

Требования по разрешающей способности целевой разведывательной аппаратуры представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид целей	Требования к разрешению, м				
	Обнаружение	Идентификация			Технический анализ
		общая	точная	Описательная	
Автотранспорт	1,5	0,6	0,3	0,06	0,045
Самолеты	4,5	1,5	1	0,15	0,045
Ракетно-артиллерийские средства	1	0,6	0,15	0,05	0,045
РЛС	3	1	0,3	0,15	0,015
Позиции ОТР и ЗРК	3	1,5	0,6	0,3	0,045
Корабли	8-15	4,5	0,6	0,3	0,045
Мосты	6	4,5	1,5	1	0,3
Аэродромные сооружения	6	4,5	3	0,3	0,15
Воинские части	6	2	1,2	0,3	0,15
Железнодорожные узлы	15 - 30	15	6	1,5	0,15
Транспортные коммуникации	6-9	6	1,8	0,6	0,4
Городские постройки	60	30	3	3	0,75
Рельеф местности	-	90	4,5	1,5	0,75

Для примера приведем расчет эффективности телевизионного канала целевой нагрузки. Основные параметры аппаратуры: размер матрицы 30\*30 мм, количество пикселей в строке матрицы 3 тыс. штук, угол визирования равен 10 градусам, фокусное расстояние задано для широкого и узкого поля зрения.

Расчет произведен по формулам:

- для полосы просмотра:

$$L = \frac{n * l_{\Phi k} * h}{f}$$

- для разрешения:

$$R = \frac{h * n * l_{\text{фк}}}{N_{\text{стр}} * f * \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)^2}$$

- для вероятности распознавания цели:

$$P_{\text{расп}} = 1 - e^{-0,036 * (n_{\text{стр}} + 1)^2}$$

где  $h$  – высота полета;

$l_{\text{фк}}$  – характерный размер матрицы;

$f$  – фокусное расстояние;

$\varphi$  - угол визирования цели;

$N_{\text{стр}}$  – количество пикселей в строке матрицы.

На рисунке 4 представлена зависимость расчетной ширины полосы просмотра оптико-электронной станции для беспилотных летательных аппаратов морской разведки от высоты полета.

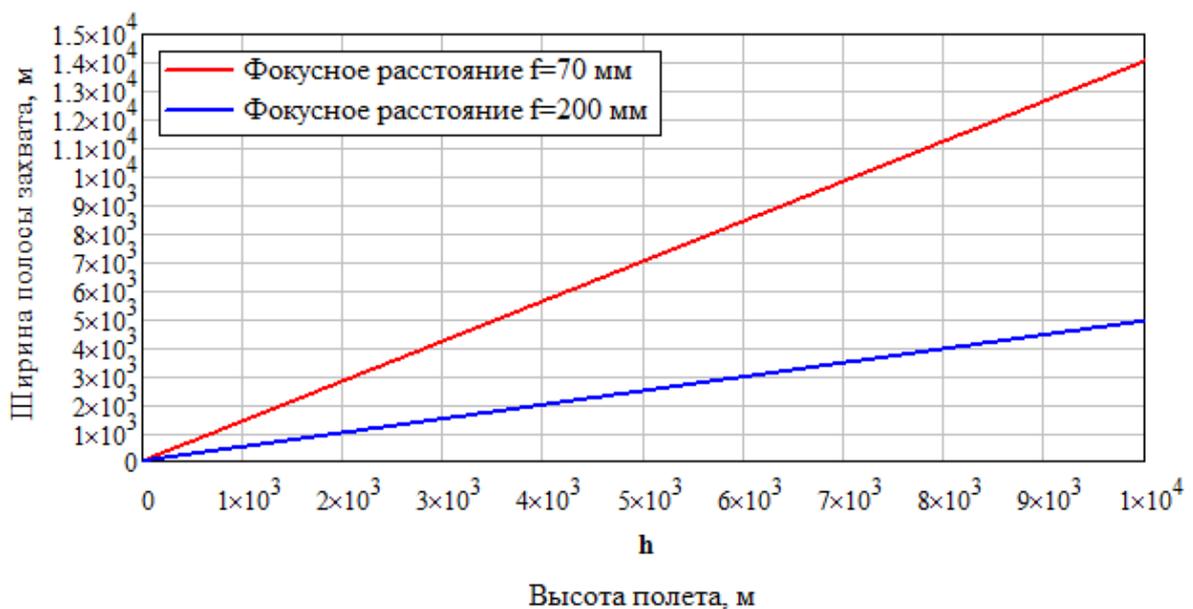


Рисунок 4

На рисунке 5 показана зависимость разрешения типовой оптико-электронной станции от высоты полета.

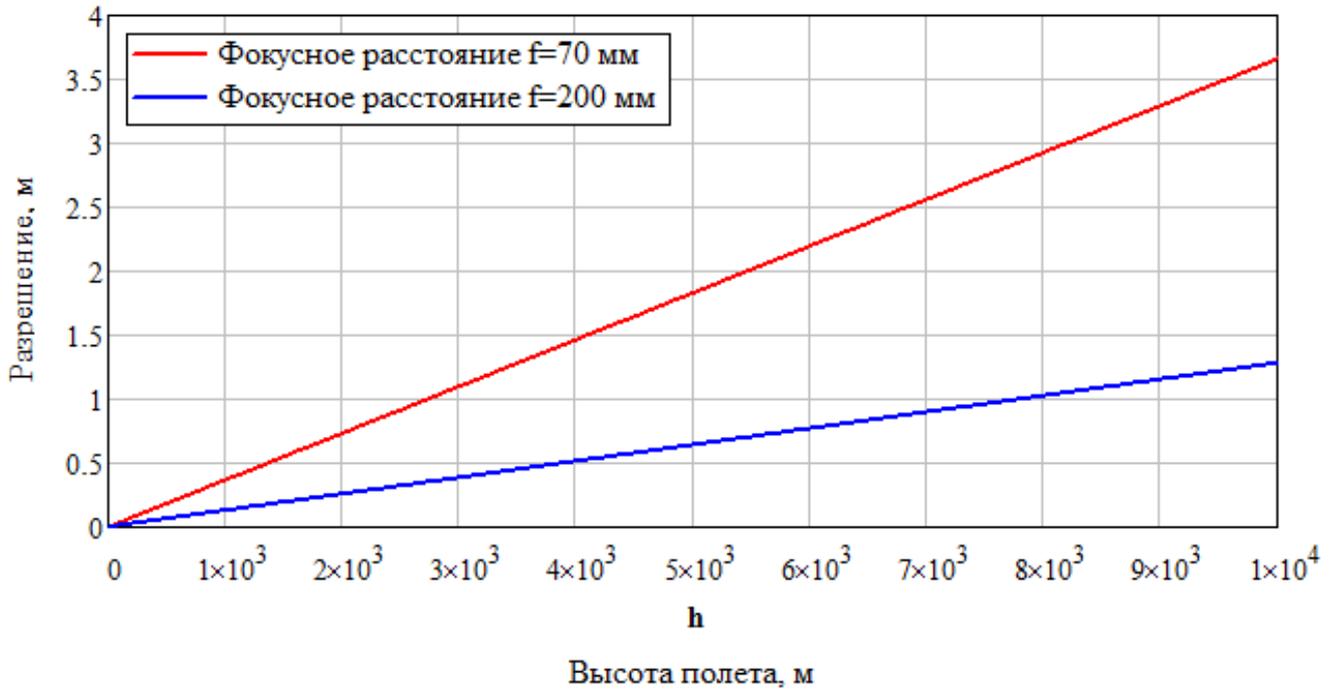


Рисунок 5

На рисунке 6 - представлена зависимость вероятности обнаружения цели тип «патрульный катер» от высоты полета.

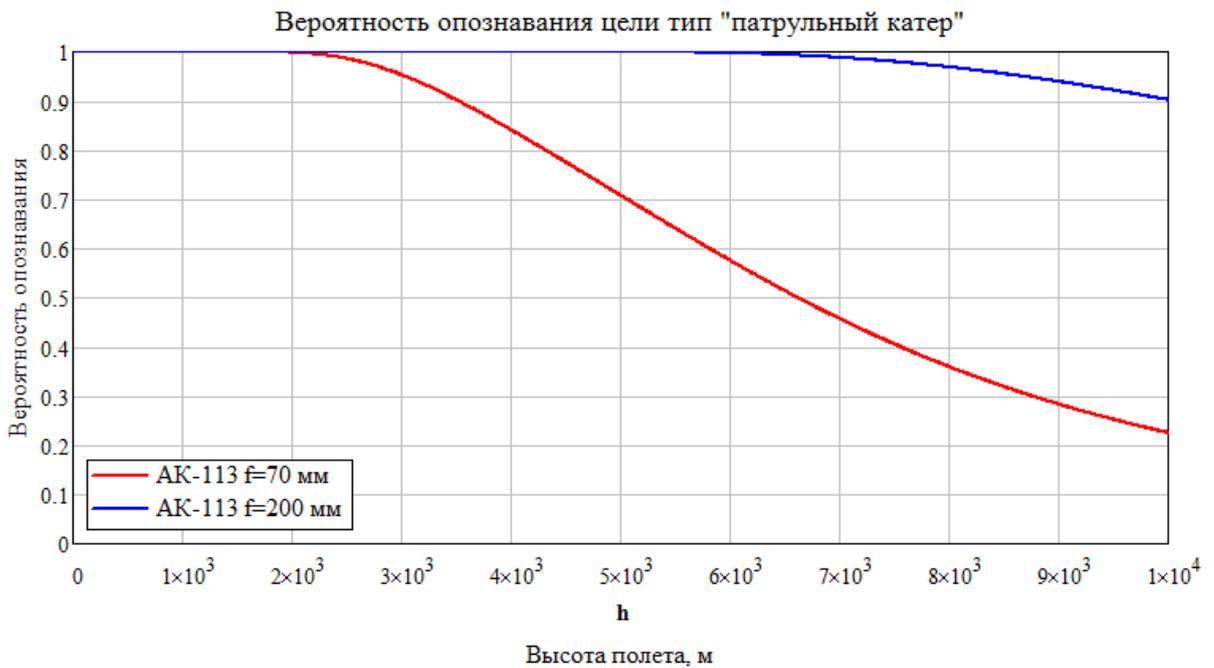


Рисунок 6

Для примера приведем расчет эффективности бортовой радиолокационной станции.

В основе всех методов количественной оценки эффективности применения бортовой радиолокационной станции лежит использование уравнения радиолокации для мощности принимаемого сигнала, а также способы определения вероятности обнаружения и распознавания различных по размерам, структуре и форме объектов.

Объективно все объекты радиолокационного наблюдения разделяются на простые и сложные.

Простые - это отдельные объекты: танк, самолет, корабль, мост, здание, дерево и т.д.

Сложные - это совокупность простых объектов, находящихся в определенной, функциональной и геометрической (пространственной) взаимосвязи, такие как колонна техники, аэродром, порт, завод, войсковые подразделения и части в различных видах боевого порядка.

И простые и сложные объекты как радиолокационные цели подразделяются на точечные, протяженные, площадные и групповые.

Точечные объекты, размеры которых меньше или равны элементу разрешения РЛС, дают на радиолокационном изображении точечную отметку, не передающую форму объекта.

Протяженные и площадные объекты, размеры которых во много раз превышают линейное разрешение РЛС, изображаются в виде протяженных и площадных отметок, хорошо повторяющих конфигурацию объектов, и потому хорошо распознаются (реки, озера, аэродромы, дороги и т.п.).

Групповые объекты состоят из совокупности точечных, протяженных и площадных объектов и могут распознаваться по количеству элементарных объектов и их взаимному расположению.

Показателем заметности объектов в радиолокационном диапазоне длин волн является эффективная площадь рассеяния  $\sigma$  (ЭПР).

Зависимость эффективной площади рассеяния от длины волны облучения и водоизмещения судов представлена на рисунке 7.

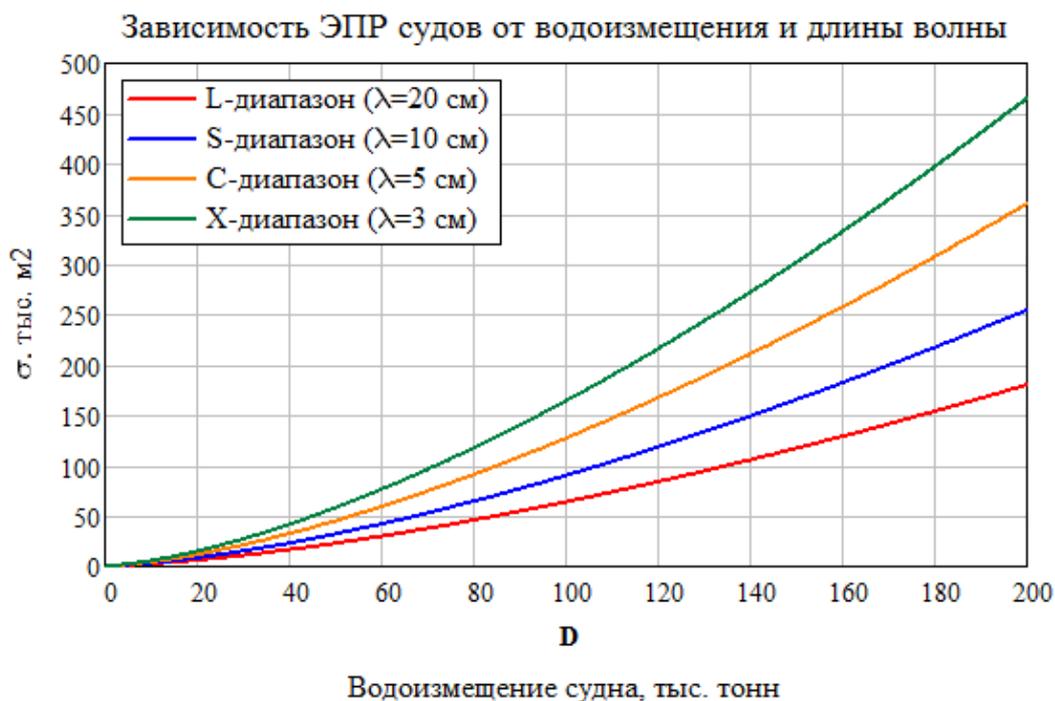


Рисунок 7

Расчет бортовой радиолокационной станции проводился по методике, изложенной в [6]

Критерием эффективности бортовой радиолокационной станции можно выбрать дальность обнаружения объектов  $D$ . Дальность обнаружения определяется по формуле:

$$D = \sqrt[4]{\frac{P \lambda^2 G^2 \sigma}{P_{\text{прм}} (4\pi)^3}} e^{-0,115 \delta_n \cdot D}$$

где  $P$  – мощность передатчика БРЛС;

$P_{\text{прм}}$  – чувствительность приемника БРЛС;

$\lambda, G_{\text{ант}}$  – длина волны и коэффициент усиления антенны БРЛС;

$\sigma$  – ЭПО кораблей;

$\delta_n$  – коэффициент затухания радиоволн в атмосфере.

Минимальная чувствительность приемника определяется выражением:

$$P_{\text{прм}} = k k_{\text{ш}} \Delta f_{\text{прм}} T k_p$$

$k = 1,38 \times 10^{-23}$  – постоянная Больцмана;

$T$  – абсолютная температура приемника;

$k_{\text{ш}}$  – коэффициент шума приемника;

$f_{\text{прм}}$  – полоса пропускания приемника РЛС;

$k$  – коэффициент различимости.

На рисунках 8,9,10 представлены результаты расчета дальности обнаружения типовой бортовой радиолокационной станции для мониторинга морской поверхности. Рабочая длина волны выбрана  $\lambda = 0,05$  м, чувствительность приемника типовой БРЛС выбрана  $P_{\text{прм}} = 10^{-14}$  [7]. Объектом разведки является цель тип «патрульный катер».

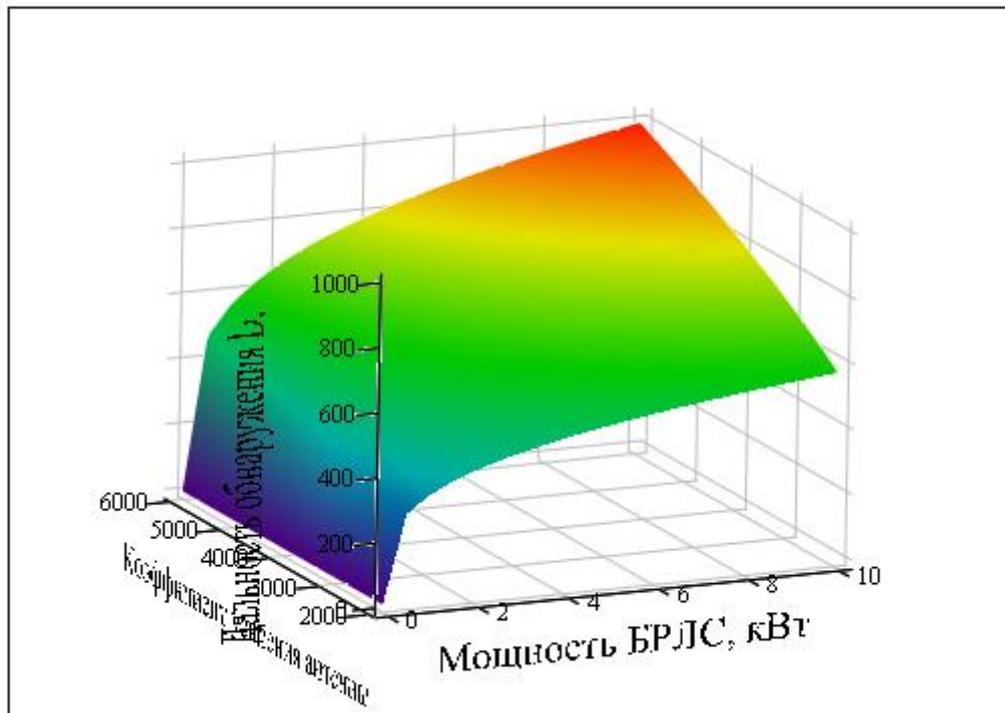


Рисунок 8

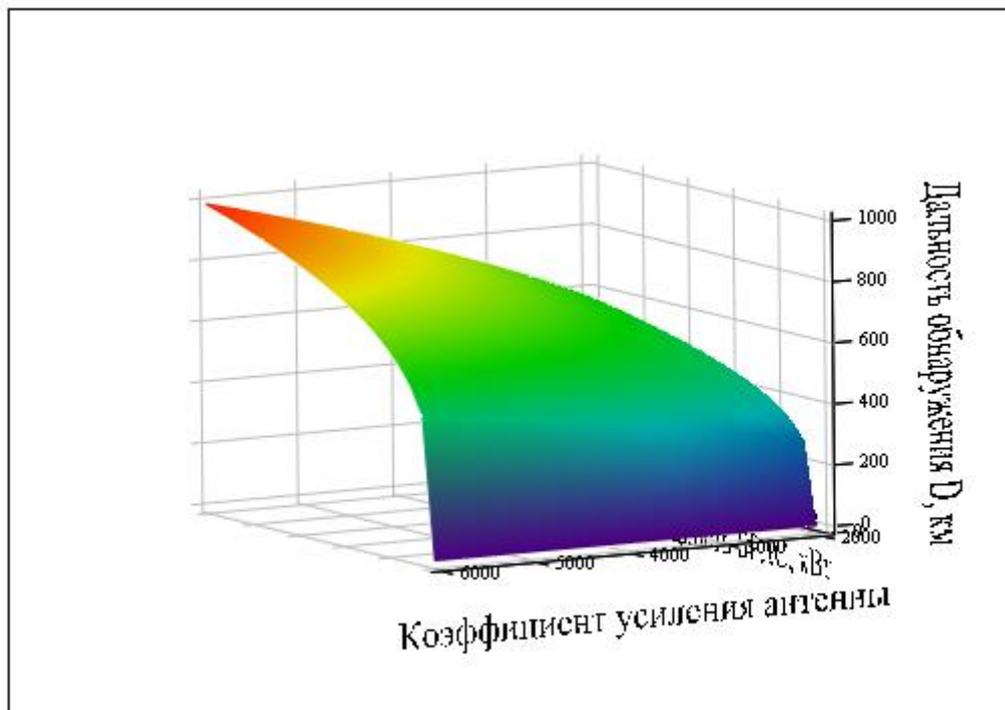


Рисунок 9

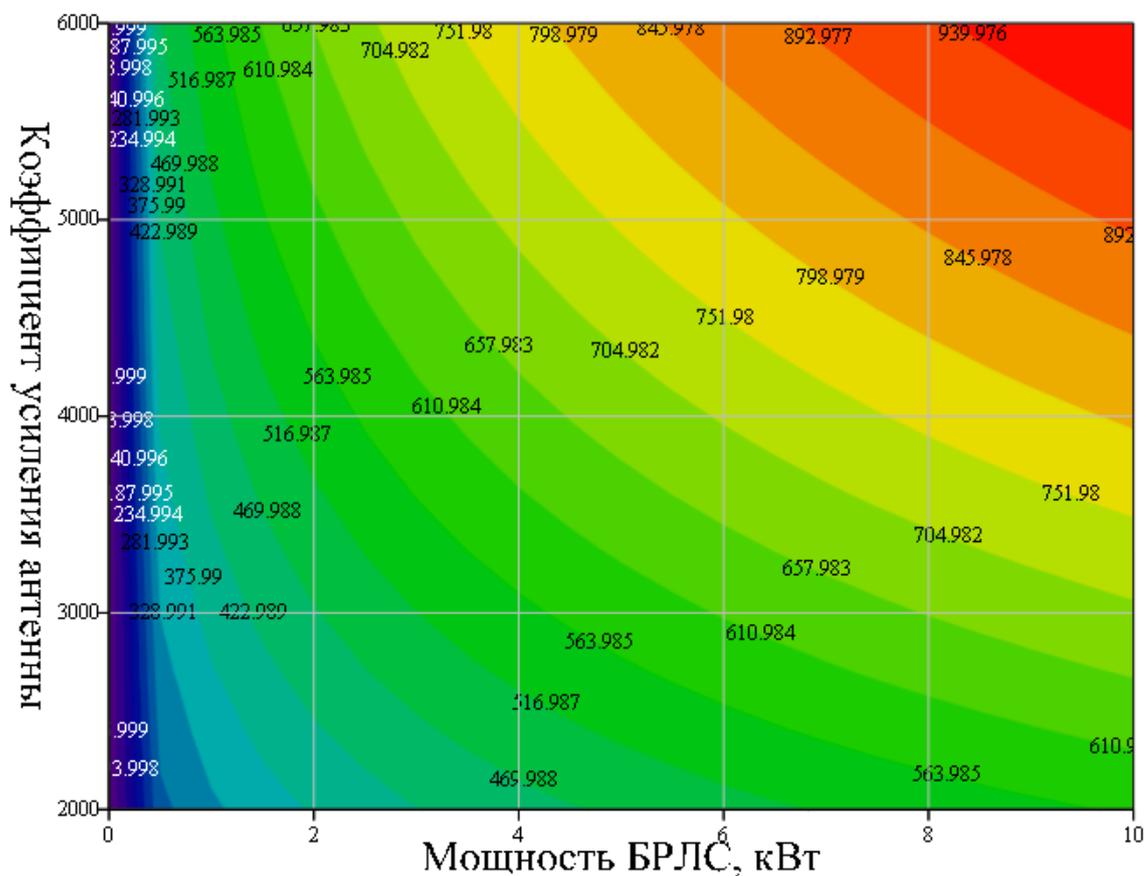


Рисунок 10

### Выводы

В статье описан подход к алгоритму формированию облика беспилотного летательного аппарата воздушной разведки на море с учетом состава целевой разведывательной аппаратуры. Представлена методика оценки эффективности оптического канала целевой аппаратуры и бортовой радиолокационной станции по обнаружению морских целей. Результаты моделирования показывают, что эффективное решение задач разведки на море возможно при включении в состав целевой аппаратуры оптического и радиолокационного канала. Оптический канал должен обладать характеристиками - размер матрицы 30\*30 мм, количество пикселей в строке матрицы 3 тыс. шт., фокусное расстояние 200 мм.

Радиолокационный канал должен иметь коэффициент усиления антенны от 3000 до 4000, мощность передатчика от 2 до 4 кВт.

### **Библиографический список**

1. Guy Norris, U.S. Navy's First MQ-4C Triton, Aerospace Daily & Defense Report Northrop Unveils, 2012.
2. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / Под редакцией И.С. Голубева и И.К. Туркина. – Изд. Второе, переработанное и дополненное. – М.: 2008.- 656 с.
3. Дракин И.И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности. - М.: Изд. «Машиностроение». 1973. - 224 с.
4. Гусейнов А.Б. Эффективность крылатых ракет: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 96 с.
5. Петраш В.Я. Методы и модели автоматизированного проектирования летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 92 с.
6. Гульшин В.А, Садомовский А.С, Задачник по радиолокации – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. 60 с.
7. Справочник офицера противовоздушной обороны / Под редакцией Г.В. Зимина - М.: Воениздат, 1981. – 431 с.